S1-3

建築物の被害と対策

Building Damage and Liquefaction Countermeasure

山田　雅一
Masaichi Yamada

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では，首都圏においては東京湾東部沿岸と利根川沿岸で液状化被害が集中して発生している．特に東京湾東部沿岸の海岸埋立地では，一万戸を超す戸建て住宅が沈下・傾斜して甚大な被害を被った．戸建て住宅に対しては，地盤の液状化を考慮した設計・建築がなされていないのが現状であり，戸建て住宅に適用できる液状化判定法と低価格で信頼性のおける液状化対策が望まれる．

石原 [1]と浅田 [2]は，過去の地震の液状化被害と地盤条件（表層の非液状化層厚 H_1 と深部の液状化層厚 H_2 の関係）について調べ H_1 と H_2 の境界曲線を提案した．また，Juang ら [3]は，集集地震（1999）における液状化に対する事例研究から石原の手法が有効であることを明示している．小規模建築物基礎設計指針 [4]では，石原と浅田による H_1 と H_2 の境界曲線を小規模建築物に対する液状化の簡易判定法として推奨している．そこで，今回の地震による液状化被害に対しても H_1 と H_2 の境界曲線が有効であることが検証されれば，戸建て住宅に対する液状化対策技術も発展してゆくことが考えられる．

本報告では，東京湾東部沿岸の千葉県浦安市において，公開されている地盤情報データベース[5]を基に，道路橋示方書[6]（以下，道路橋）による液状化判定を行い，液状化被害状況との比較ならびに液状化判定による液状化の程度と地盤条件（H_1とH_2の関係）との関係を検討する．

2. 液状化判定

2.1 液状化判定法

本報告の検討に用いた液状化判定法は，道路橋による判定法を準用した．道路橋に基づいて検討地点の各深さにおける液状化安全率 F_L を求め，その F_L 値から液状化指数 P_L[7]を算出し，液状化の程度を評価した．P_L 値によって表 1 に示すような液状化危険度が判定される．

表 1 P_L による液状化判定区分

P_L	液状化の危険度
$P_L=0$	かなり低い
$0<P_L\leqq5$	低い
$5<P_L\leqq15$	高い
$15<P_L$	極めて高い

2.2 検討地点と判定条件

公開されている地盤情報データベース [5]を基に，東京湾東部沿岸の千葉県浦安市の 53 地点について液状化判定を行った．

公開されている地盤情報は，土の単位体積重量 γ_t，細粒分含有率 F_C が不明であるので，道路橋示方書による概略値 [6]を用いた．また，液状化判定に用いた地震動は検討地点に最も近い K-NET の観測点で得られた地表面最大加速度を水平震度として用いた．その地表面最大加速度は，174 cm/s^2（K-NET 浦安）である．

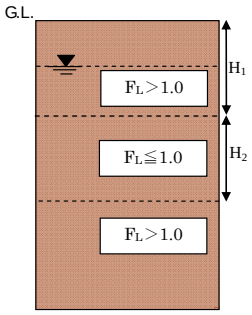
2.3 液状化判定結果

表 2 に液状化判定結果（P_L）を示す．浦安市今川地区，富岡地区，千鳥地区および高洲地区の P_L 値が $0<P_L\leqq5$ で液状化の危険度が低いとされている地点においても，大きな液状化被害が確認されている．液状化判定結果が過小評価された一因としては，地震動は比較的小さかったが，継続時間が長かったためであることが考えられる．そこで，地震動の継続時間の影響を考慮して再度液状化判定を行った．これは，地震動の継続時間（繰返し回数）の影響を補正係数として考慮する方法 [8]であり，その判定結果（P_L）を表 2 に併せ示した．表 2 より，判定結果は浦安市今川における実際の液状化被害状況 [9]と調和的であることがわかった．

3. 液状化の程度と地盤条件の関係

石原 [1]は，唐山地震（1976）と日本海中部地震（1983）における液状化被害事例を基に，砂のボイリング現象は非液状化層厚 H_1，液状化層厚 H_2 と地表面最大加速度の関係に依存するとして，H_1 と H_2 の境界曲線を示している．浅田 [2]は，日本海中部地震（1983）において，液状化および非液状化地点を調査し，H_1，H_2 と地表での液状化被害との関係について整理した．液状化による建物被害があった場合を液状化被害有りとして，H_1 と H_2 の関係を曲線で区分している．

本報告では，道路橋による判定法で求めた F_L 値から，図 1 に示すように非液状化層厚 H_1 と液状化層厚 H_2 を定義して，P_L 値による液状化の程度と地盤条件の関係を検討した．



H_1；非液状化層厚
H_2；液状化層厚
図 1 H_1 と H_2 の定義

表 2 に現行の判定法と地震動の継続時間の影響を考慮した判定法で求めた H_1 と H_2 の値を示した．図 2 は現行の判定法による液状化の程度（P_L）と地盤条件（H_1 と H_2

日大理工・教員・建築

表 2 液状化判定結果

液状化判定地点		道路橋示方書			道路橋示方書(継続時間の影響を考慮)		
		P_L	H_1(m)	H_2(m)	P_L	H_1(m)	H_2(m)
浦安市	海楽2丁目 (07229)	0.0	20.0	0.0	0.0	20.0	0.0
	当代島1丁目 (25346)	0.0	20.0	0.0	2.3	9.8	2.0
	北栄3丁目 (12877)	0.0	20.0	0.0	6.2	4.1	1.7
	美浜3丁目 (25672)	0.0	20.0	0.0	12.0	2.8	3.1
	富士見3丁目 (25332)	0.0	20.0	0.0	11.9	5.1	6.8
	明海 (25657)	0.0	20.0	0.0	7.9	4.8	1.4
	明海 (25655)	0.0	20.0	0.0	9.0	3.8	1.0
	高洲 (25615)	0.0	20.0	0.0	9.4	2.8	2.0
	海楽2丁目 (07230)	0.0	20.0	0.0	0.0	20.0	0.0
	海楽2丁目 (04771)	0.0	3.6	2.9	10.5	3.6	2.9
	明海 (25654)	0.0	20.0	0.0	3.2	6.7	1.1
	千鳥 (25610)	0.0	15.5	0.0	0.0	15.5	0.0
	北栄4丁目 (12875)	0.0	7.8	1.0	6.3	6.8	2.1
	千鳥 (25604)	0.1	10.8	0.9	3.8	9.8	1.9
	舞浜3丁目 (25899)	0.3	2.8	1.0	14.1	2.9	3.9
	猫実5丁目 (25345)	0.4	7.8	1.0	7.6	7.8	3.0
	高洲 (05334)	0.4	7.8	1.0	5.3	6.8	2.0
	千鳥 (25605)	0.7	8.8	1.0	3.7	8.8	2.7
	今川1丁目 (25631)	0.7	8.8	0.9	20.4	2.5	7.2
	高洲 (25663)	0.8	5.8	1.0	10.4	0.8	1.0
	入船6丁目 (25894)	0.9	3.8	1.0	7.8	2.8	2.0
	美浜1丁目 (12961)	1.3	4.8	3.0	18.4	3.8	7.9
	高洲 (05302)	1.3	8.8	2.0	11.3	7.0	5.0
	今川1丁目 (05341)	1.5	3.1	0.7	17.8	3.1	6.4
	美浜5丁目 (05337)	1.6	5.8	1.6	12.1	5.8	1.6
	海楽2丁目 (25396)	1.6	7.7	0.8	14.5	3.2	3.6
	舞浜 (09848)	1.7	4.8	0.8	10.4	2.7	2.9
	千鳥 (25607)	1.7	9.8	1.7	7.8	6.8	1.0
	北栄4丁目 (12873)	2.3	8.8	0.7	3.0	8.8	0.7
	今川2丁目 (25616)	2.3	3.8	5.0	22.8	2.0	6.8
	入船5丁目 (25627)	2.5	4.8	0.9	10.6	3.8	1.9
	鉄鋼通り3丁目 (25641)	2.6	6.8	2.0	20.2	3.8	7.9
	舞浜2丁目 (09849)	2.7	8.8	1.0	11.0	4.7	1.1
	今川2丁目 (25632)	2.9	6.8	1.0	22.9	2.2	5.7
	高洲 (25661)	3.1	4.9	1.9	25.7	4.9	8.9
	港 (05324)	3.2	10.9	0.6	30.0	1.8	6.0
	美浜2丁目 (25895)	4.4	4.8	2.0	12.7	4.8	2.0
	今川1丁目 (25394)	4.8	3.8	3.0	26.5	3.1	6.7
	高洲 (05273)	4.9	2.8	1.0	16.5	1.8	2.0
	富岡2丁目 (25896)	5.0	3.1	3.7	28.0	3.1	4.7
	高洲 (23659)	5.3	6.7	2.1	16.4	6.7	2.1
	美浜5丁目 (25892)	5.5	3.8	2.1	19.4	2.8	3.2
	日の出 (09853)	5.6	2.8	1.0	23.8	2.8	12.4
	舞浜 (09847)	5.7	2.8	2.0	23.7	2.8	2.9
	千鳥 (25608)	6.6	2.8	6.9	29.6	1.8	7.9
	鉄鋼通り3丁目 (25640)	7.4	3.8	3.0	24.6	2.8	4.0
	高洲(23654)	8.3	6.8	3.0	17.4	6.8	3.0
	富岡三丁目 (25897)	11.2	1.8	6.0	35.6	1.8	7.0
	鉄鋼通り2丁目 (05305)	11.3	1.8	4.0	31.4	1.8	7.0
	高洲 (23657)	14.0	0.6	1.3	32.5	0.6	1.3
	千鳥 (25609)	14.5	1.8	1.3	22.7	1.8	1.3
	舞浜 (25634)	16.2	4.8	1.0	31.5	4.8	1.0
	千鳥 (25603)	17.3	2.7	4.1	34.8	2.7	8.8

※( )内の表記は千葉県地質環境インフォメーションバンクでの整理番号である.

の関係）の関係を示した．同図中には，石原 [1]による地表面最大加速度が 200 cm/sec^2 の場合の境界曲線を実線で併せ示した．この曲線は，地表面での液状化被害有無の境界を示すものであり，H_1 と H_2 の関係が曲線の左側に位置する場合は地表面での液状化被害が発生し，右側に位置する場合は地表面での液状化被害は発生しないことを示す．図 2 より，現行の判定法で求めた P_L 値による液状化の程度と H_1 と H_2 の関係には相関が見られないことがわかる．これは，液状化判定結果が過小評価されたためである．

図 3 は，地震動の継続時間の影響を考慮した判定法で求めた液状化の程度（P_L）と地盤条件（H_1 と H_2 の関係）の関係を示したものである．図 3 より，P_L 値による液状化の程度と H_1 と H_2 の関係には比較的良い相関が見られることがわかる．

4. まとめ

道路橋示方書による液状化判定法を用いて，液状化程度と地盤条件（非液状化層厚H_1と液状化層厚H_2の関係）を検討した．現行の判定法では，液状化の程度と地盤条件の関係には相関が見られなかったが，現行の液状化判定法に地震動の継続時間の影響を考慮して判定した結果には，液状化程度と地盤条件の関係に比較的良い相関が見られた．

本報告では，細粒分含有率などの不明な地盤情報は，道路橋示方書による概略値を用いており，実際の地盤情報を用いて精査する必要があるが，戸建て住宅を対象とした場合，非液状化層厚H_1と液状化層厚H_2の境界曲線は簡易的な液状化判定と液状化対策の選定に利用できそうである．

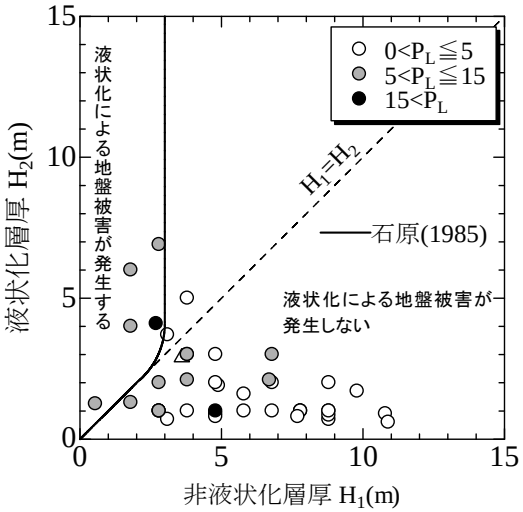


図2 現行の判定法による液状化の程度と地盤条件の関係

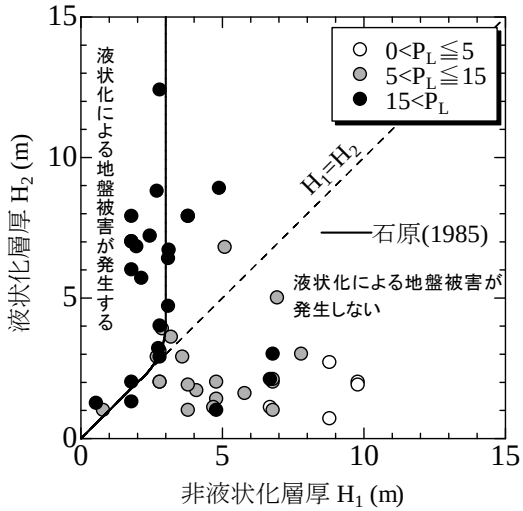


図3 継続時間の影響を考慮した判定法による液状化の程度と地盤条件の関係

【参考文献】

1)Ishihara,K. : Stability of National Deposits during Earthquakes, 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.1,pp.321-376,1985.
2)浅田秋江：住家の液状化被害の簡易予測法とその防止工法，1983 年日本海中部地震 15 周年記念誌,1998.
3)Juang et al: Liquefaction in the Chi-Chi Earthquake-Effect of Fines and Capping Non-Liquefiable Layers, Soils and Foundations, Vol.45,No.6, pp.89-101, 2005.
4)日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針，2008.
5)千葉県環境生活部：地質環境インフォメーションバンク
6)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編, 2002.
7)岩崎敏雄，龍岡文夫，常田賢一，安田進：地震時地盤液状化の程度の予測について，土と基礎，Vol.28，No.4，pp.23-29，1980.
8)吉田望，大矢陽介，澤田純男，中村晋：海溝型長継続時間地震動に対する簡易液状化判定法の適用性，日本地震工学会論文集，第 9 巻，第 3 号，pp.28-47，2009.
9)千葉県環境センター：第 3 報 千葉県内の液状化-液状化現象とその被害の概要及び詳細分布調査結果－浦安地区(1)－，2011.5.